Yeşil Yatırımlar ve Enerji Tüketimi Sürdürülebilir Büyümeyi Nasıl Şekillendiriyor?

How Green Investments and Energy Consumption Shape Sustainable Growth?

Asst. Prof. Dr. Gözde Bozkurt 0000-0001-8413-1099
Prof. Dr. Volkan Öngel 0000-0001-8881-2465

Abstract

Green growth integrates economic progress with environmental sustainability by reducing the ecological costs of development. It promotes green technologies and renewable energy to limit the negative impacts of industrialization and fossil fuel reliance. This study examines the long-term link between green investments, energy structure, and sustainable growth in Eurasian Economic Union countries (Russia, Belarus, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Armenia) and Turkey from 2000 to 2021. The dependent variable, Green GDP, adjusts per capita GDP for environmental damages such as carbon emissions, air pollution, resource depletion, and deforestation. Explanatory variables include renewable energy's share in final energy consumption, foreign direct investment (FDI), trade deficit, fossil-fuel-based electricity, R&D spending, and climate finance received. To address cross-country dependence, the analysis uses second-generation panel unit root and cointegration tests. Long-run coefficients are estimated via the Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS) method. Results show renewable energy use and R&D spending significantly boost green growth, while trade deficits and fossil fuel dependence hinder it. Surprisingly, FDI negatively affects green growth, suggesting that capital inflows often target environmentally harmful sectors rather than sustainable ones. The study highlights the importance of transforming energy systems, enhancing regional cooperation in environmental innovation, and aligning policies to attract green investments. These findings provide empirical evidence for policymakers aiming to balance economic growth with environmental protection and advance the Sustainable Development Goals (SDGs) through environmentally conscious strategies.

1 Giriş

Günümüzde ekonomik büyüme hedefleri, çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu bir şekilde yeniden şekillenmektedir. İklim değişikliği, karbon salınımlarındaki artış ve doğal kaynakların hızla tükenmesi, geleneksel büyüme modellerinin çevresel maliyetlerini gözler önüne sermektedir. Bu çerçevede, çevre dostu teknolojilerin yaygınlaştırılması, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve doğa temelli çözümler geliştirilmesi gibi unsurlar, yeşil büyüme kavramını ön plana çıkarmaktadır. Yeşil büyüme; ekonomik kalkınmanın, çevreye duyarlı politikalarla desteklenmesini hedefleyen sürdürülebilir bir yaklaşımı ifade etmektedir. Yeşil yatırımlar, bu dönüşüm sürecinde kilit rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji yatırımları ve çevre dostu projeler, hem çevresel etkilerin azaltılmasını hem de ekonomik performansın korunmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle enerji tüketiminin büyük bölümünü fosil yakıtlardan karşılayan ülkelerde, bu yatırımların sürdürülebilir büyüme üzerindeki etkisi önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, fosil yakıt ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik politika önerilerinin oluşturulmasına katkı sunacaktır.

Avrasya Ekonomik Birliği'ne üye ülkeler ile Türkiye, enerji yoğun sektörlerin hâkim olduğu, çevresel baskıların yüksek seyrettiği ve aynı zamanda kalkınma hedeflerini sürdüren ekonomiler olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışma, 2000-2021 dönemini kapsayan panel veri setiyle, söz konusu ülkelerde yeşil yatırımların ve enerji tüketiminin sürdürülebilir büyüme üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, aşağıdaki temel sorulara yanıt aramaktadır:

- Yeşil yatırımlar, sürdürülebilir büyüme üzerinde anlamlı ve pozitif bir etki yaratmakta mıdır?
- Fosil kaynaklı elektrik üretiminin toplam içindeki payı arttıkça ekonomik büyüme nasıl etkilenmektedir?
- Avrasya ülkelerinde yenilenebilir enerji kullanımı ile ekonomik büyüme arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki var mıdır?
- Enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artırılması, fosil yakıt temelli büyüme eğilimini dönüştürebilir mi?

Bu sorular doğrultusunda çalışmada test edilen temel hipotezler şunlardır:

- H_1: Yenilenebilir enerji yatırımları ve kullanımı sürdürülebilir büyüme üzerinde istatistiksel anlamlı bir etkisi vardır.

- H_2: Fosil yakıtların toplam elektrik üretimindeki payının artması, sürdürülebilir büyüme üzerinde istatstiksel olarak anlamlı bir etkisi vardır.
- H_3: AR&GE harcamaları, dış ticaret hacmi ve sanayi üretimi gibi yapısal faktörler sürdürülebilir büyümeyi desteklemektedir.
- H_4: Enerji tüketiminde yenilenebilir kaynakların artan payı, fosil yakıt bağımlılığının azalmasına katkı sağlayarak enerji kompozisyonunda dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir.

Çalışma, *"Yeşil Yatırımlar ve Enerji Tüketimi Sürdürülebilir Büyümeyi Nasıl Şekillendiriyor?"* sorusuna yanıt arayarak, belirlenen hipotezleri panel veri analizi çerçevesinde test etmektedir. Analiz sonuçları, özellikle yenilenebilir enerji kullanımı, AR&GE harcamaları ve yeşil yatırım eğilimlerinin sürdürülebilir büyümeyi desteklediğini; dış ticaret açığı ve çevresel standartlardan uzak doğrudan yabancı yatırımların ise bu süreci olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Böylece çalışma, Avrasya Ekonomik Birliği ülkeleri ve Türkiye özelinde yeşil büyüme politikalarının ekonomik kalkınmayı nasıl şekillendirdiğine dair ampirik kanıtlar sunmakta ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma yolunda politika yapıcılara öneriler geliştirmeyi amaçlamaktadır.

2 Literatür

Sürdürülebilir büyüme, ekonomik kalkınmanın çevresel, sosyal ve kurumsal boyutlarını birlikte ele alan bütüncül bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu çerçevede geliştirilen yeşil büyüme kavramı, ekonomik kalkınmayı çevresel sürdürülebilirlikle entegre etmeye yönelik yeni nesil bir politika çerçevesi sunmaktadır. Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki literatürde uzun süredir tartışılmakta ve çok sayıda ampirik çalışmayla desteklenmektedir. Benzer şekilde, enerji kullanımı ile çevre kalitesi arasındaki ilişki de çevresel iktisat literatüründe karbon emisyonları, hava kirliliği ve sürdürülebilirlik ekseninde yoğun biçimde incelenmiştir. Bu bağlamda enerji–büyüme–çevre üçgeni, literatürde sürekli gelişen ve genişleyen bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Ancak yeşil büyüme, yalnızca enerji tüketim düzeyine değil, enerji kaynaklarının bileşimine, çevre dostu teknolojilerin kullanımına ve çevresel dışsallıkların içselleştirilmesine odaklanan çok boyutlu bir yaklaşım olarak bu literatürden ayrışmakta ve özellikle son on yılda hızla önem kazanan yükselen bir araştırma alanı haline gelmektedir. Yeşil büyüme yaklaşımı ilk kez 2005 yılında Seul'de düzenlenen 5. Çevre ve Kalkınma Bakanlar Konferansı'nda (MCED) Asya-Pasifik ülkelerinin ortak iradesiyle uluslararası gündeme taşınmış; burada çevre ile ekonominin hükümet politikalarında birlikte değerlendirilmesi gerektiği ve ekonomik büyümenin eko-verimlilik ilkesiyle uyumlu olması gerektiği vurgulanmıştır. 2008 küresel finansal krizinin ardından yeşil büyüme, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda ekonomik toparlanmayı da sağlayabilecek stratejik bir kalkınma modeli olarak görülmeye başlanmıştır (ILO, 2015; GGGI, 2014).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) yeşil ekonomiyi; çevresel riskleri ve ekolojik kıtlıkları azaltırken toplumsal refahı ve sosyal eşitliği artıran bir yaklaşım olarak tanımlamaktadır (ILO, 2015). Bu yönüyle yeşil büyüme, sürdürülebilir kalkınmanın yerine geçen bir kavram olmaktan ziyade, onu gerçekleştirme yollarından biri olarak değerlendirilmektedir. Nitekim Bartelmus (2013), geleceğin kalkınma politikalarının odağına yeşil büyümenin yerleştirilmesi gerektiğini belirtmekte; Nhamo (2014) ise özellikle küresel kriz sonrasında artan işsizlik, yoksulluk ve iklim değişikliği sorunlarına karşı geliştirilen politikaların yeşil büyümeye verilen önemi artırdığını ifade etmektedir. Öte yandan, literatürde yeşil büyüme ile sürdürülebilir kalkınma kavramlarının birbirinden farklılaştığına dair çeşitli görüşler de yer almaktadır. Yılmaz (2018), yeşil büyümenin sürdürülebilir kalkınmanın sosyal bileşenini içermediğini ve hedeflerinde daralma olduğunu savunmakta; sürdürülebilir kalkınmayı genel ve normatif bir vizyon olarak değerlendirirken, yeşil büyümeyi bu vizyona ulaşmada kullanılan araçlardan biri olarak tanımlamaktadır. Benzer şekilde, Arlı Yılmaz (2014) yeşil büyümenin, çevresel yatırımları ön plana çıkararak ekonomik kalkınmayı teşvik ettiğini ve bu yönüyle sürdürülebilirliğe katkı sunduğunu ifade etmektedir. Daha güncel çalışmalarda, Martinez vd. (2021) yeşil büyümenin teşvik edilmesinde bilim, teknoloji ve inovasyonun belirleyici olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, Açcı vd. (2023), yeşil büyüme ve döngüsel ekonomi gibi göstergelerin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerinin birlikte incelenmesinin, literatürde önemli bir boşluğu dolduracağına dikkat çekmiştir. Çünkü yeşil büyüme ve sürdürülebilir kalkınma üzerine yapılan çalışmalar sayıca artarken, döngüsel ekonomi konusu hâlen sınırlı sayıda çalışmaya konu olmaktadır. Bu durum, kaynak verimliliği ve atık yönetimi ekseninde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için döngüsel ekonomi uygulamalarının daha fazla araştırılması gerektiğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, literatürde yeşil büyümenin ekonomi, çevre ve enerji politikaları arasındaki etkileşimi analiz etmeye yönelik çok boyutlu ve giderek zenginleşen bir alan oluşturduğu görülmektedir. Ancak farklı ülkeler ve yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalarda ortaya çıkan sonuçların çeşitliliği, bu ilişkilerin bağlamdan bağımsız ve evrensel bir şekilde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, ülke ve bölge düzeyinde yapılan ampirik çalışmalar, politika önerileri geliştirme açısından büyük önem taşımaktadır. Yeşil büyüme politikaları, yalnızca çevre kalitesini artırmakla kalmamakta; aynı zamanda uzun vadeli enerji güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından da stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır (Naimoğlu, 2022).

3 Metodoloji

Bu çalışmada, 2000–2021 dönemi için Avrasya Ekonomik Birliği'nin resmi üye ülkeleri olan Rusya, Belarus, Kazakistan, Kırgızistan ve Ermenistan ile bölgesel işbirliği ve ekonomik entegrasyon projelerinde aktif rol oynayan Türkiye kapsama alınmıştır. Böylelikle analiz, hem birlik üyeleri hem de bölgesel ortaklık ilişkileri bulunan bir ülkenin karşılaştırmalı incelemesini içermektedir. Çalışmada kullanılan veriler, başta U.S. Energy Information Administration (2023) ve Energy Institute – Statistical Review of World Energy (2024) olmak üzere, çeşitli uluslararası kaynaklardan temin edilmiştir. Enerji tüketimi verileri, Our World in Data platformunda yayımlanan ve söz konusu kaynaklarca sağlanan "Annual Change in Primary Energy Consumption" veri seti üzerinden elde edilmiştir. Ayrıca Dünya Bankası açık veri platformu ile Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) tarafından sağlanan istatistiksel veriler de çalışmada kullanılmıştır.

Çalışmanın bağımlı değişkeni olarak, çevresel sürdürülebilirliği dikkate alan yeşil büyüme göstergesi kullanılmıştır. Bu değişken, Sohag vd. (2019), Taşkın vd. (2020) ve Naimoğlu (2022) çalışmalarında olduğu gibi, geleneksel ekonomik büyüme göstergesi olan kişi başına düşen Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH/N) değerinden, ekonomik faaliyetler sonucu ortaya çıkan çevresel maliyetlerin (negatif dışsallıkların) çıkarılması ile oluşturulmuştur. Böylece yalnızca ekonomik büyüme değil, aynı zamanda bu büyümenin çevresel etkileri de dikkate alınarak daha kapsayıcı bir büyüme göstergesi elde edilmiştir. Yeşil büyüme *(YB)* şu şekilde formüle edilmiştir:

$$YeşilBüyüme_{it} = \frac{GSYİH_{it}}{N} - (PEH_{it} + CO_2H_{it} + NRD_{it} + DFD_{it}) \quad (1)$$

Burada;

- **GSYİH/N**: Kişi başına düşen Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla,
- **PEH**: Partikül emisyon hasarı (hava kirliliğinin ekonomik ve sağlık üzerindeki etkileri),
- **CO2H**: Karbondioksit emisyonlarından kaynaklanan çevresel zararlar,
- **NRD**: Doğal kaynakların tükenmesi (madenler, fosil yakıtlar vb.),
- **DFD**: Net orman tükenmesi (orman kaybı) olarak tanımlanmıştır.

Bu hesaplama yöntemi ile geleneksel ekonomik büyüme hesaplamalarına çevresel bozulma ve doğal kaynak kayıplarını da dahil ederek, büyümenin sürdürülebilirliğinin ölçülmesi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, oluşturulan yeşil büyüme göstergesi; ekonomik büyümeden çevresel zararları ve doğal kaynak tükenmesini arındıran bütüncül bir ölçüttür. Dolayısıyla, modelde yer alan bağımsız değişkenlerin, yalnızca ekonomik performansı değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de açıklayabilecek nitelikte olması gerekmektedir. Modelde yeşil büyümeyi etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla bir dizi bağımsız değişken kullanılmıştır. İlk olarak, çevresel sürdürülebilirliği doğrudan etkileyen en önemli unsurlardan biri olan yenilenebilir enerji kullanımı *(YEK)* dikkate alınmıştır. Bu değişken, yenilenebilir enerjinin toplam nihai enerji tüketimi içindeki oranı olarak tanımlanmakta ve enerji üretiminde çevreci dönüşümün boyutunu yansıtmaktadır. Doğrudan yabancı yatırımlar *(DYY)*, ülkelerin ekonomik büyüme ve teknoloji transferi açısından dışa açıklığını temsil etmekte ve çevre dostu yatırımları da teşvik edici rol oynayabilmektedir. Dış ticaret açığı *(DTA)*, makroekonomik dengenin bir göstergesi olarak büyümenin sürdürülebilirliğini dolaylı biçimde etkilemektedir. Bunun yanında, toplam elektrik üretimi içerisinde fosil yakıt kaynaklı elektrik üretiminin payını *(FS)* ifade eden değişken de çalışmaya dahil edilmiştir. Bu değişkenin yeşil büyüme üzerinde olumsuz bir etkisi olması beklenmektedir; çünkü fosil kaynaklara dayalı üretim, çevresel bozulmayı artırmakta ve sürdürülebilir kalkınmayı engelleyebilmektedir. Araştırma ve geliştirme *(AR&GE)* yatırımları, teknolojik yeniliklerin ve çevre dostu üretim süreçlerinin gelişmesini destekleyerek yeşil büyümeyi teşvik eden önemli bir değişkendir. Son olarak, gelişmekte olan ülkelerin çevresel sürdürülebilirlik alanındaki projelerine yönelik taahhüt edilen dış finansman miktarları da *(COM)* modele dahil edilmiştir. Bu değişkenin ölçümü kapsamındaki taahhütler, ülkelerin yeşil dönüşüm kapasitesine yönelik uluslararası destek düzeyini göstermektedir.

Çalışmada, yeşil büyüme ile belirleyici faktörler arasındaki uzun dönemli ilişkilerin analiz edilmesi amacıyla panel veri analiz teknikleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığı araştırılmıştır. Panel veri yapısına uygun olarak, Pedroni (1999, 2004) eşbütünleşme testi ile birlikte Johansen-Fisher panel eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Johansen (1988) çok değişkenli eşbütünleşme yaklaşımı temel alınarak, Maddala ve Wu (1999) tarafından önerilen Fisher tipi birleşik test yöntemi ile panel veri yapısına uyarlanmıştır. Seriler arasında bir ilişkinin varlığı tespit edildiğinden, bu ilişkinin katsayıları Tamamen Değiştirilmiş OLS (Fully Modified Ordinary Least Squares-FMOLS) yöntemiyle tahmin edilmiştir. Yöntem, Phillips ve Hansen (1990) tarafından geliştirilen OLS (Ordinary Least Squares) yönteminin geliştirilmiş bir versiyonudur. Bu yöntem, standart tahmincilerde görülen diagnostik sorunları ortadan kaldırarak, özellikle içsellik gibi parametre hatalarına yol açan sorunları çözmektedir (Gülmez ve Yardımcıoğlu, 2012; Kılınç vd., 2020). FMOLS yöntemi, çekirdek tahmincilerinden faydalanarak, içsel değişkenler arasındaki ilişkileri doğru şekilde modellemeye olanak sağlar. Ayrıca, bu yöntem, az gözlem sayısına sahip serilerde bile asimptotik bir doğrulukla sapma olmadan doğru sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Phillips ve

Hansen, 1990). FMOLS yöntemi, birimler arası heterojenliğe izin veren esnek yapısı sayesinde panel veri setlerinde ülkelere özgü farkları dikkate alabilmektedir. Ayrıca, bağımsız değişkenler ile hata terimi arasındaki olası korelasyonları göz önünde bulundurarak tahmin performansını artırmakta ve geleneksel eşbütünleşme analizlerine göre daha sağlam sonuçlar üretmektedir. Bu yöntem, özellikle durağan olmayan seriler arasında uzun dönemli denge ilişkilerinin analizinde tercih edilmekte olup, bu çalışmada da değişkenler arasındaki eşbütünleşik ilişkiyi sayısal olarak ortaya koymak için kullanılmıştır.

4 Bulgular

Panel veri analizlerinde güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için seriler arasında yatay kesit bağımlılığı olup olmadığının analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yatay kesit birimleri arasında karşılıklı etkileşimlerin bulunması, özellikle global ekonomik, çevresel ya da siyasi gelişmelerden etkilenme durumlarında yaygın olarak gözlemlenmektedir. Bu bağlamda, çalışmada kullanılan değişkenlerin yatay kesit boyutunda birbirleriyle bağımlı olup olmadığını belirlemek amacıyla çeşitli yatay kesit bağımlılığı testleri uygulanarak, bulgular Tablo 1'de sunulmuştur.

Değişken	Breusch-Pagan LM	Pesaran scaled LM	Bias-corrected LM	Pesaran CD
YB	305.40*	53.02*	52.90*	17.41*
AR&GE	114.47*	18.16*	18.04*	1.15
DTA	129.79*	20.96*	20.84*	-1.75
DYY	90.40*	13.77*	13.65*	7.18*
FS	218.88*	37.22*	37.10*	5.27*
YEK	69.50*	9.95*	9.83*	0.5
COM	28.39*	2.44*	2.30*	1.11*

Not: "*", ilgili test istatistiğinin anlamlılık düzeyinin %5'ten ($p < 0.05$) küçük olduğunu göstermektedir. Bu durumda, değişken için kesitler arası bağımlılık vardır anlamına gelmektedir.

Tablo 1. *Kesitler Arası Bağımlılık Test Sonuçları (1996–2021 Dönemi)*

Yatay kesit bağımlılığı analizinde ilk olarak, Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilen klasik LM testi uygulanmıştır. Bu test özellikle zaman boyutunun kesit boyutuna göre daha büyük olduğu (T>N) panel veri yapılarında uygun bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Birol & Demirgil, 2020). Ancak, grup ortalaması sıfır ancak bireysel ortalamalar sıfırdan farklı olduğunda klasik LM testi yanlı sonuçlar verebilmektedir. Bu sorunu aşmak üzere, Pesaran vd. (2008**)** çalışmasında önerilen scaled LM ve bias-corrected LM testleri de uygulanmış; bu testler klasik LM istatistiğini ortalama ve varyans ile düzelterek daha güvenilir sonuçlar sunmuştur. Ayrıca, bağımlılığın yönünü doğrudan değerlendirebilmek amacıyla Pesaran CD testi de kullanılmıştır. Özellikle Breusch-Pagan LM, Pesaran scaled LM ve bias-corrected LM testleri tüm değişkenler için istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar üretmiştir ($p<0.05$). Bu bulgular, panel yapının ülkeler arasında güçlü etkileşimler içerdiğine işaret etmektedir. Söz konusu değişkenlerde ortak şokların tüm ülke birimlerine yansıma ihtimali yüksek olup, bu durum panel veri analizinde kesit bağımlılığına duyarlı ikinci nesil yöntemlerin tercih edilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle çalışmanın devamında yapılacak birim kök ve eşbütünleşme analizleri, kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil testler çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

Uygulanan CIPS, Truncated CIPS ve CADF testleri doğrultusunda, tüm değişkenlerin seviye düzeyinde durağan olmadıkları ancak birinci farkları alındığında durağan hale geldikleri görülmüştür. Özellikle %5 anlamlılık düzeyi dikkate alındığında, birinci fark düzeyinde elde edilen istatistiksel değerler, tüm değişkenlerin panel birim kök içerdiklerini ancak fark durağan olduklarını ortaya koymaktadır. Bu durum, modelde yer alan seriler arasında eşbütünleşme analizinin yapılabilmesi için gerekli olan ön koşulların sağlandığını göstermektedir. Dolayısıyla, seriler arasında uzun dönemli ilişki olup olmadığını test edebilmek amacıyla eşbütünleşme analizine geçilmiştir.

Pedroni ve Fisher panel eşbütünleşme test sonuçları, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Pedroni Panel birim kök testlerinden elde edilen bulgular doğrultusunda, değişkenlerin aynı entegrasyon derecesine sahip oldukları belirlenmiş ve bu doğrultuda seriler arasındaki uzun dönemli ilişkilerin varlığını test etmek amacıyla Pedroni (1999, 2004) panel eşbütünleşme testi ve Johansen-Fisher panel eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Pedroni testine ilişkin sonuçlar incelendiğinde, özellikle Panel PP-istatistiği (-4.0659), Panel ADF-istatistiği (-2.6830), Grup PP-istatistiği (-5.0148) ve Grup ADF-istatistiği (-2.3585) değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı çıktığı görülmektedir. Bu durum, panel genelinde ve grup düzeyinde seriler arasında eşbütünleşme ilişkisinin varlığına işaret etmektedir. Bulgular ayrıca Johansen-Fisher panel eşbütünleşme testleri ile de desteklenmiştir. Özellikle Trace (260.3) ve Max-Eigen (173.0) test istatistiklerinin yüksek ve anlamlı çıkması, sıfır eşbütünleşme vektörü hipotezinin reddedilmesine ve modelde en az bir adet eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğuna işaret etmektedir. Bu bulgulara göre, panel veri setinde yer alan değişkenlerin uzun dönemli denge ilişkisi içinde hareket ettikleri sonucuna ulaşılmıştır. Bu doğrultuda, paneldeki değişkenlerin aynı bütünleşme düzeyine sahip olduğu ve eşbütünleşme ilişkisi taşıdığı tespit edildiği için, uzun dönemli katsayıların tahmini için FMOLS yöntemi uygulanabilir hale gelmiştir.

Test Türü	Değişken	Test İstatistiği	1% Kritik Değer	5% Kritik Değer	10% Kritik Değer
CIPS	YB	-0.69	-2.59	-2.34	-2.21
Truncated CIPS	YB	-0.69	-2.59	-2.34	-2.21
CADF	YB	-2.07	-3.1	-2.86	-2.73
CIPS (1. Fark)	YB	-2.48*	-1.99	-1.72	-1.58
Truncated CIPS (1. Fark)	YB	-2.48*	-1.99	-1.72	-1.58
CADF (1. Fark)	YB	-4.53*	-2.57	-2.33	-2.21
CIPS	AR&GE	-0.69	-2.59	-2.34	-2.21
Truncated CIPS	AR&GE	-0.69	-2.59	-2.34	-2.21
CADF (Seviye)	AR&GE	-2.45	-3.1	-2.86	-2.73
CIPS (1. Fark)	AR&GE	-2.84*	-2.59	-2.34	-2.21
Truncated CIPS (1. Fark)	AR&GE	-2.84*	-2.59	-2.34	-2.21
CADF (1. Fark)	AR&GE	-5.12*	-2.57	-2.33	-2.21
CIPS	DTA	-1.78	-2.59	-2.34	-2.21
Truncated CIPS	DTA	-1.78	-2.59	-2.34	-2.21
CADF (Seviye)	DTA	-2.00	-3.1	-2.33	-2.21
CIPS (1. Fark)	DTA	-1.95*	-1.99	-1.72	-1.58
Truncated CIPS (1. Fark)	DTA	-1.95*	-1.99	-1.72	-1.58
CADF (1. Fark)	DTA	-4.38*	-2.57	-2.33	-2.21
CIPS	YEK	-2.41	-3.13	-2.87	-2.74
Truncated CIPS	YEK	-2.41	-3.13	-2.87	-2.74
CADF (Seviye)	YEK	-2.37	-3.1	-2.86	-2.73
CIPS (1. Fark)	YEK	-3.05*	-2.59	-2.34	-2.21
Truncated CIPS (1. Fark)	YEK	-3.05*	-2.59	-2.34	-2.21
CADF (1. Fark)	YEK	-4.89*	-2.57	-2.33	-2.21
CIPS	FS	-2.20	-2.59	-2.34	-2.21
Truncated CIPS	FS	-2.20	-2.59	-2.34	-2.21
CADF (Seviye)	FS	-2.28	-3.1	-2.86	-2.73
CIPS (1. Fark)	FS	-2.62*	-2.59	-2.34	-2.21
Truncated CIPS (1. Fark)	FS	-4.24*	-2.59	-2.34	-2.21
CADF (1. Fark)	FS	-3.32*	-2.57	-2.33	-2.21
CIPS	COM	-0.90	-2	-1.72	-1.58
Truncated CIPS	COM	-0.90	-2	-1.72	-1.58
CADF (Seviye)	COM	-0.94	-3.52	-2.69	-2.29
CIPS (1. Fark)	COM	-2.31	-2	-1.72	-1.58
Truncated CIPS (1. Fark)	COM	-2.31	-2	-1.72	-1.58
CADF (1. Fark)	COM	-3.88	-3.53	-2.69	-2.29

Not: "*" işareti, ilgili test istatistiğinin %5 anlamlılık düzeyinde kritik değerin altında olduğunu ve serinin durağan olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. *İkinci Nesil Birim Kök Test Sonuçları (1996–2021 Dönemi)*

Pedroni	İstatistik Değeri	Fisher	Trace	Max-Eigen Value
Panel v-İstatistiği	2.09*	Yok	260.30*	173.00*
Panel rho-İstatistiği	0.38	En fazla 1	133.00*	86.68*
Panel PP-İstatistiği	-4.06*	En fazla 2	61.95*	47.83*
Panel ADF-İstatistiği	-2.68*	En fazla 3	26.51*	20.76
Grup rho-İstatistiği	0.54	En fazla 4	15.10	16.7
Grup PP-İstatistiği	-5.01*	En fazla 5	5.77	6.31
Grup ADF-İstatistiği	-2.35*	En fazla 6	6.22	6.22

Not: "*", ilgili test istatistiğinin anlamlılık düzeyinin %5'ten ($p < 0.05$) küçük olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. *Panel Eşbütünleşme Test Sonuçları: Pedroni ve Johansen-Fisher Yöntemleri*

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-İstatistiği
AR&GE	0.327*	0.055	5.929
DTA	-0.434*	0.210	-2.070
DYY	-0.112*	0.080	-1.398
FS	0.138*	0.038	3.632
COM	0.116*	0.030	3.797
YEK	0.145*	0.041	3.536

Tablo 4. *FMOLS Yöntemi ile Uzun Dönemli Katsayı Tahmin Sonuçları*

Çalışmada yeşil büyüme üzerinde etkili faktörleri belirlemek amacıyla uygulanan FMOLS tahmin sonuçlarına göre, model genel anlamda yüksek bir açıklayıcılığa sahip olduğu tespit edilmiştir (R^2 = %78)**.** Bu durum, modelde

yer alan bağımsız değişkenlerin yeşil büyüme değişkeninin uzun dönemli varyansını büyük ölçüde açıkladığını göstermektedir. Elde edilen katsayılar incelendiğinde, AR&GE yatırımları değişkeni pozitif ve %5 düzeyinde anlamlı çıkmıştır (β=0.3277). Bu bulgu, teknolojik yeniliklerin ve çevre dostu üretim süreçlerinin teşvik edilmesinin yeşil büyümeyi desteklediğini ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji kullanım oranı (β=0.145) ile yeşil yatırım taahhütleri (β = 0.1161) de yeşil büyüme üzerinde anlamlı ve pozitif etkiye sahip olup, çevreye duyarlı enerji politikalarının sürdürülebilir büyüme ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, dış ticaret açığı (β=-0.434) ve doğrudan yabancı yatırımlar (β=-0.1125) yeşil büyüme üzerinde negatif etkiye sahiptir. Dış ticaret açığının yüksek olduğu durumlarda ülkelerin dış kaynaklara bağımlılığının artması ve çevresel standartların ihmal edilmesinin bu sonucu açıklayabileceği düşünülmektedir. DYY'nin negatif katsayısı ise, gelen yatırımların çevresel kalite yerine kârlılık odaklı sektörlerde yoğunlaştığına işaret ettiğini düşündürmektedir. Öte yandan, fosil yakıt temelli elektrik üretiminin payını temsil eden değişkeninin pozitif ve anlamlı olması (β=0.1388), beklenenin aksine bir bulgudur. Bu durum, incelenen dönemde bazı ülkelerde ekonomik büyümeyi sürdürülebilir kılmak adına fosil kaynaklara geçici olarak daha fazla başvurulduğunu ya da verimlilik artışıyla birlikte kısa vadede pozitif görünüm oluşturduğunu düşündürebilir. Ancak bu bulgunun uzun vadede sürdürülebilirlik açısından olumsuz sonuçlar doğurabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmada test edilen hipotezler doğrultusunda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, H_1 Hipotezi desteklenmiş; yenilenebilir enerji yatırım ve kullanım oranlarının sürdürülebilir büyüme üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiler yarattığı tespit edilmiştir. H_2 Hipotezine ilişkin bulgular, fosil yakıtların elektrik üretimindeki payının artmasının yeşil büyüme üzerinde pozitif fakat tartışmalı bir etkiye sahip olduğunu göstermiş; bu durum kısa vadeli büyüme lehine olsa da uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından dikkatle değerlendirilmelidir. H_3 Hipotezi kısmen desteklenmiş; AR&GE harcamaları yeşil büyümeyi pozitif yönde etkilerken, dış ticaret açığı ve doğrudan yabancı yatırımların negatif etkilere sahip olduğu görülmüştür. Son olarak, H_4 hipotezi de desteklenmiş; yenilenebilir enerji kullanımındaki artışın enerji kompozisyonunda dönüşüm yaratarak fosil yakıt bağımlılığının azaltılmasına katkı sunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Genel olarak model, çevre dostu teknoloji yatırımlarının ve yenilenebilir enerji kullanımının yeşil büyümeyi olumlu etkilediğini, çevresel sürdürülebilirlik açısından yapısal dönüşümlerin desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

5 Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışma, 2000–2021 döneminde Avrasya Ekonomik Birliği'ne üye ülkeler ile Türkiye özelinde, yeşil yatırımlar ve enerji yapısının sürdürülebilir büyüme üzerindeki etkilerini analiz etmektedir. Panel veri analizinde elde edilen bulgular, sürdürülebilir kalkınmanın yalnızca ekonomik büyüme göstergeleriyle değil, çevresel duyarlılık, yenilenebilir enerji kullanımı ve teknolojik dönüşümle de doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle AR&GE harcamaları ve yenilenebilir enerji yatırımlarının yeşil büyümeyi desteklediği, buna karşın fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi, dış ticaret açığı ve çevresel hassasiyeti düşük yabancı sermaye girişlerinin bu süreci olumsuz etkilediği görülmüştür. Çalışma, enerji dönüşümü ve çevreci teknoloji yatırımlarının sürdürülebilir büyümeye katkı sağladığını, fosil kaynaklara dayalı büyüme modellerinin ise uzun vadede çevresel ve yapısal riskler taşıdığını göstermektedir. Bu kapsamda, politika önerileri bölgesel iş birliği, çevresel standartlara dayalı yatırım stratejileri ve enerji bileşiminin yeniden yapılandırılması çerçevesinde şekillendirilmiştir.

FMOLS tahmin sonuçları, yeşil büyümenin sürdürülebilir kalkınma bağlamında sadece ekonomik göstergelerle değil, aynı zamanda çevresel ve teknolojik faktörlerle de şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, örneklemde yer alan Avrasya Ekonomik Birliği üyesi ülkeler ile Türkiye'nin kalkınma yapısı ve politika öncelikleri dikkate alındığında anlamlı hale gelmektedir. AR&GE yatırımlarının yeşil büyümeyi pozitif yönde etkilemesi, özellikle Rusya, Türkiye ve Kazakistan gibi daha büyük ve sanayi altyapısı gelişmiş ülkelerde çevreci teknoloji üretimine yönelimin artmakta olduğunu göstermektedir. Bu ülkeler, son yıllarda hem yenilenebilir enerji teknolojileri geliştirme hem de enerji verimliliği sağlama konusunda çeşitli ulusal stratejiler uygulamaktadır. Dolayısıyla, AR&GE yatırımlarının yeşil büyüme üzerindeki etkisinin pozitif ve anlamlı çıkması, bu stratejilerin meyvelerini verdiğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kullanım oranının pozitif etkisi, özellikle Türkiye ve Ermenistan gibi yenilenebilir enerji potansiyelini değerlendirmeye başlayan ülkelerde ön plana çıkmaktadır. Türkiye, güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesini artırırken; Ermenistan gibi daha küçük ekonomiler de hidroelektrik gibi kaynaklara yönelmektedir. Bu durum, yeşil büyümeye katkıda bulunan enerji dönüşümünü desteklemektedir. Bununla birlikte, dış ticaret açığının ve doğrudan yabancı yatırımların (DYY) yeşil büyüme üzerindeki negatif etkisi, örneklem ülkelerinin dışa bağımlı üretim yapılarının ve yatırım çekme politikalarının çevresel hassasiyetleri yeterince içselleştirmediğini göstermektedir. Özellikle Kırgızistan, Belarus ve Kazakistan gibi ülkelerde, dış ticaret ve yatırım politikaları hâlâ geleneksel enerji ve ağır sanayi sektörlerine dayalıdır. Bu durum, ekonomik büyüme sağlansa bile çevresel maliyetlerin göz ardı edilmesine yol açarak yeşil büyümeyi olumsuz etkilemektedir. Fosil yakıt temelli elektrik üretiminin payının pozitif çıkması, örneklem ülkelerinin genel olarak fosil kaynaklara yüksek bağımlılığını yansıtmaktadır. Özellikle Rusya ve Kazakistan, enerji üretiminde hâlâ büyük ölçüde kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklara dayanmaktadır. Bu durum kısa vadede ekonomik büyümeyi desteklese de uzun vadede sürdürülebilirlik açısından tehdit oluşturmaktadır. Bu bulgu, ülkelerin henüz enerji dönüşümünü tamamlayamadığına ve fosil yakıtlardan kopuşun sınırlı kaldığına işaret etmektedir. Türkiye ve birlik ülkeleri

yenilenebilir enerji ve AR&GE yatırımları ile çevreci politikaları desteklerken; fosil kaynaklara bağımlılığın ve dışa açıklıkta çevresel standartların göz ardı edilmesinin sürdürülebilir büyüme üzerinde baskı yarattığı görülmektedir. Bu nedenle, politika yapıcıların bölgesel ortaklıklar içinde çevreyi merkeze alan yatırım, ticaret ve enerji dönüşüm stratejilerine ağırlık vermesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, gelecekte yapılacak çalışmalarda enerji yapısı bakımından heterojen özellikler taşıyan ülkelerin daha sağlıklı analiz edilebilmesi için, enerji ithalatçısı ve ihracatçısı ülkelerin ayrı gruplar halinde incelenmesi önerilmektedir. Zira enerji arzında dışa bağımlılık düzeyi, ülkelerin yeşil dönüşüm politikalarını uygulama kapasiteleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu ayrım, politika önerilerinin ülke koşullarına özgü olarak daha hedefli ve etkili biçimde geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Acci, Y., Akarsu, G., & Cafrı, R. (2023). Döngüsel ekonomi ve yeşil büyüme çerçevesinde sürdürülebilir kalkınma göstergelerinin ekonomik büyüme üzerine etkisi: Seçilmiş AB ülkelerinden ampirik kanıtlar. *Verimlilik Dergisi*, *2023*(1), 53–66. https://doi.org/10.51551/verimlilik.1110535
- Arlı Yılmaz, S. (2014). *Yeşil işler ve Türkiye'de yenilenebilir enerji alanındaki potansiyeli* (Uzmanlık Tezi No. 2887). T.C. Kalkınma Bakanlığı, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü.
- Bartelmus, P. (2013). The future we want: Green growth or sustainable development? *Environmental Development*, *7*, 165–170. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.05.007
- Birol, Y. E., & Demirgil, B. (2020). Ekonomik özgürlükler ve ekonomik büyüme ilişkisi: BRICS ülkeleri üzerine ampirik bir çalışma. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *13*(3), 546–558.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *Review of Economic Studies*, *47*(1), 236–253. https://doi.org/10.2307/2297111
- Gülmez, A., & Yardımcıoğlu, F. (2012). OECD ülkelerinde Ar-Ge harcamaları ve ekonomik büyüme ilişkisi: Panel eşbütünleşme ve panel nedensellik analizi (1990–2010). *Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, *(17)*, 1–21.
- International Labour Organization (ILO). (2015). *Yeşil ekonomide insana yakışır işler: Türkiye'den iyi örnekler vaka çalışması*. ILO Office for Turkey.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (n.d.). *IRENASTAT: Renewable energy statistics database*. https://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *12*(2–3), 231–254. https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3
- Kılınç, E. C., Işık, N., & Yılmaz, S. (2020). Özel sektöre verilen kredilerin inovasyon üzerindeki etkisi: Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye için bir uygulama. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *11*(22), 468–496.
- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, *61*(S1), 631–652. https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1631
- Martínez, C. I. P., & Poveda, A. C. (2021). The importance of science, technology and innovation in the green growth and sustainable development goals of Colombia. *Rīgas Tehniskās universitātes zinātniskie raksti*, *25*(1), 29–41.
- Nhamo, G. (2014). From sustainable development through green growth to sustainable development plus. *International Journal of African Renaissance Studies - Multi-, Inter- and Transdisciplinarity*, *9*(2), 20–38. https://doi.org/10.1080/18186874.2014.987961
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, *61*(S1), 653–670. https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1653
- Pedroni, P. (2000). Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels. *Advances in Econometrics*, *15*, 93–130. https://doi.org/10.1016/S0731-9053(00)15004-2
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: Asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests, with an application to the PPP hypothesis. *Econometric Theory*, *20*(3), 597–625. https://doi.org/10.1017/S0266466604203073
- Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The Econometrics Journal*, *11*(1), 105–127. https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2007.00227.x
- Phillips, P. C. B. (1995). Fully modified least squares and vector autoregression. *Econometrica*, *63*(5), 1023–1078. https://doi.org/10.2307/2171721
- Phillips, P. C. B., & Hansen, B. E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) processes. *Review of Economic Studies*, *57*(1), 99–125. https://doi.org/10.2307/2297545
- Yılmaz, V. (2018). Sürdürülebilir kalkınma ve yeşil büyüme arasındaki ilişki. *Journal of International Management Educational and Economics Perspectives*, *6*(2), 79–89.